

都立大学 会員 村田二郎
都立大学 会員 川崎道夫

1. まえがき 本研究は、フェロセメントに関する一連の研究のうち、小型船への利用を目的として行ったものであって、フェロセメント板の有効な厚さの検討、船長30m程度の船体構造の試的設計、これに用いるフェロセメント部材の載荷試験結果についてとりまとめたものである。

2. フェロセメント船の試的設計 (1)設計条件 船種: 水運搬箱形船, 船長(L): 30m, 船体比重: 2.0, 波形: トロコイド波, 最大波高: 1.5m (2)主寸法の決定 船幅: $L/6 + 1.00 = 6.00m$, 船高: $L/10 = 3.00m$, 部材厚さ: b cm (補強材部材断面中央に中6mmの丸鋼を5cm間隔の格子状に配置し, その両側に中1.2mm) 間隔10mmの微細鋼を各8片配置)を仮定, (3)縦曲げ応力の計算 (i)荷重曲線の決定: 荷重曲線は, 船長方向に沿って(自重+荷重)-浮力の計算を行った(図-1)。ここで浮力は, ホギング状態(波頂が船体中央にあり波底が船首尾にある状態), サギング状態(波底が船体中央にあり波頂が船首尾にある状態)より求めた。(ii)最大せん断応力, 最大曲げ応力: 荷重曲線を船長方向に積分してせん断力図をさらに積分して曲げモーメント図を求め, それぞれの最大値 S_{max} , M_{max} より T_{max} および σ_{max} を計算した。(4)局部曲げ応力の計算 肋骨心距を50cmとする連結板と考えると T_{max} および σ_{max} を求めた(表-1)。(5)安全性の検討 局部曲げおよび縦曲げより計算された船底部材の最大曲げ応力は28.1%, また船体中央の T_{max} は6.6%とされた。 σ_{max} は, 安全率1.5としたひびわれ許容曲げ応力33.3%(曲げひびわれ縁応力50%)以内にあり安全である。なお厚さ5cmとして計算した結果 σ_{max} は38.9%となった。

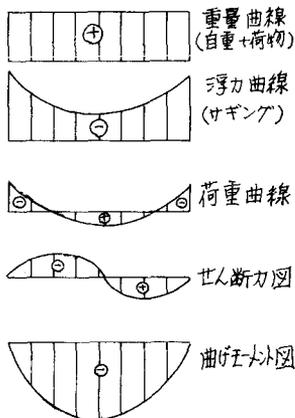


図-1 縦曲げによる各図

表-1 フェロセメント船各部応力

応力の種類	縦曲げ	局部曲げ	合計
せん断	S_{max} (t)	21.81	-
	T_{max} (kg/cm)	6.6	-
曲げ	S_{max} (t)	21.81	5.47
	σ_{max} (kg/cm ²)	0.1	2.3
T	M_{max} (t-m)	208.06	0.46
	σ_{max} (kg/cm ²)	15.9	12.7

3. フェロセメント板(FC板)の有効な厚さの検討 FC板の有効な厚さを検討するため, 厚さ3~15cmの后鉄鋼材比をもつ鉄筋コンクリート板(RC板)と初期ひびわれモメント(M_c)および終局曲げモメント(M_u)について比較を行った。比較は計算と実験の両者について行ない, 計算に際しては, FC板を鉄筋を多数に配したRCとして, またRC板は鉄筋を複鉄筋に配する構造とした。計算に用いた鋼材の機械的性質およびモルタルの性質を表-2に示す。実験は厚さ5, 6, 10cmの3部材について実施し, M_c, M_u の測定をした。なお初期ひびわれの測定は目視によった。図-2は, 部材厚さと M_c と M_u の関係を計算値と実験値について示したものである。FC板の計算値はいずれの部材厚さにおいてもRC板を下回っているが, M_c の実験値は厚さ5cmでRC板の1.54倍, 厚さ6cmで1.15倍となり, 厚さ5~6cm以下ではFC板が有利であることを示している。これはFC板が繊維強化型の複合材料であると同時に粒子強化型の効果を有するためと思われる。また M_u については, FC板が計算上各部厚5cm以下で有利になっている。実験結果はRC板が上回っているがこれは使用した鉄筋の降伏応力が予想以上に大きかったためである。

表-2 計算に用いた材料の性質および条件

種類	鋼材寸法		機械的性質			鋼材の種類	摘要
	直径 (mm)	間隔 (mm)	降伏強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	降伏比		
FC板	1.2	10.2	29	31	0.94	微細鋼	FC板は断面中央に中6mmの丸鋼を格子状に, 金鋼を25mm間隔に1片配置のふりあり。RC板は複鉄筋に配置のふりあり。
	6	50	31	40	0.78	中6丸鋼	
RC板	6	-	31	40	0.78	中6丸鋼	D10の公称直径 *2: 0.2%ひびわれに対する耐力
	9.5	-	39	53	0.74	D10	

モルタルの性質: $\sigma_{cu} = 800 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{tu} = 29.1 \text{ kg/cm}^2$, $E_{cu} = 0.04$, 応力分布: M_c の計算では引張域での弾性域と塑性域の区別を1:1とした。 M_u の計算では引張側モルタルを長方形分布した。

4. 船体部材の載荷試験 (1)繰返し曲げ試験 繰返し曲げ試験に供した部材の寸法は, 図-3に示す通りであ

り、2点荷重による正負繰返し曲げ試験を行なった。また試験体断面は中空とすべきであったが試験体の作製上H型断面とした。荷重の載荷位置は、設計で求められた縦曲げによる応力状態($\sigma=15.9\%$, $\tau=6.6\%$)をシミュレートするよう位置を決め、その時の荷重の大きさを設計荷重とした。モルタルの種類は、圧縮強度780 kg/cm^2 (膨張材混入)と450 $\%$ の2種類とした(以後前者の部材をA, 後者をBとする)。鋼材は表-2に示したものと同じものを使用した。載荷方法は図-4に示す通りであり、スパン中央におけるたわみおよびフランジ縁でのひびわれ幅を測定した。表-3は、 M_c および M_u について示したものである。 M_c に対する安全度は、表-3では縦曲げによる設計モーメント1.57 $\text{t}\cdot\text{m}$ に対して示したものであるが、局所曲げを加えたモーメント2.82 $\text{t}\cdot\text{m}$ に対する安全度は、Aが2.1, Bが1.4であった。また、部材A, Bの初期ひびわれ荷重の終局荷重に対する比率は、Aが $P_{f0}=0.38$, Bが $P_{f0}=0.25$ であった。表-4は、オ2, オ3回繰返し時の最大ひびわれ幅の増加率を示したものである。結果は、オ2回繰返して部材Aが $2.45 \times 10^{-3}\%$ 面, Bが $0.34 \times 10^{-3}\%$ 面, またオ3回繰返して部材Aが $7.92 \times 10^{-3}\%$ 面, Bが $1.59 \times 10^{-3}\%$ 面といずれ(1)も増加傾向を示した。これはフェロセメント材では、ひびわれを許さない設計をしなければならないことを示しており、特に部材Aのようにひびわれ強度(ひびわれ幅 0.025mm では $P_{f0}=0.5$ 程度)が大きい場合は、留意しなければならない。(2)せん断試験 船側部材を対象としたせん断試験体の部材寸法は図-3に示す通りであり、試験は2点荷重による単調載荷試験とした。またせん断スパン高率比($\%a$)は1.5とした。部材厚は、設計で求められた6 cm の箱切大とした。載荷試験における測定は、試験体表面に貼付したロゼットゲージにより主ひずみを、また試験体断面中央の丸鋼に埋付したゲージおよび目視により、それれれ頃めひびわれ発生時の荷重を求めた。頃めひびわれ発生荷重は、部材Aで30 t , Bで13 t であり、せん断耐力は、前者が46.6 $\%$, 後者が20.2 $\%$ となった。これは設計せん断耐力6.6 $\%$ に対し、 $\%a=1.5$ でも約7および3倍の安全性を有している。破壊形態は、スパン中央での曲げ破壊であった。以上のことより、水平および鉛直方向に等しい鋼材量を有し、かつ粒子強化効果が期待できるフェロセメント構造では、設計に際し、せん断に対しては特別な配慮をほらう必要のないことを示していると思われる。

表-3 H型部材実験結果

種類	M_c ($\text{t}\cdot\text{m}$)	安全度*	M_u ($\text{t}\cdot\text{m}$)	M_c/M_u
A	5.82	3.70	15.30	0.38
B	3.87	2.46	15.60	0.25

*縦曲げ設計モーメント1.57 $\text{t}\cdot\text{m}$ に比

表-4 繰返し時ひびわれ幅の変化

種類	ひびわれ幅の増大率	増加率($\times 10^{-3}\%$ 面)	
		オ2回繰返し	オ3回繰返し
A	最大	2.45	7.92
	平均	1.48	3.72
B	最大	0.34	1.59
	平均	0.14	0.22

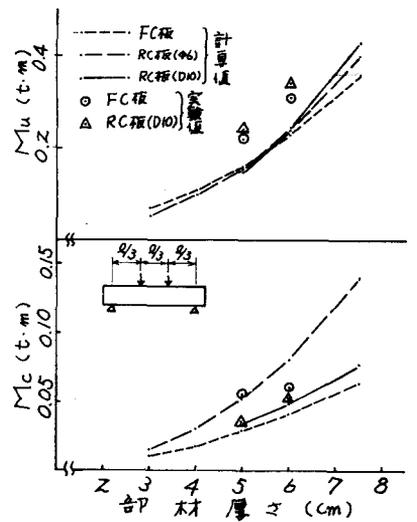


図-2 部材厚さと M_c, M_u の関係

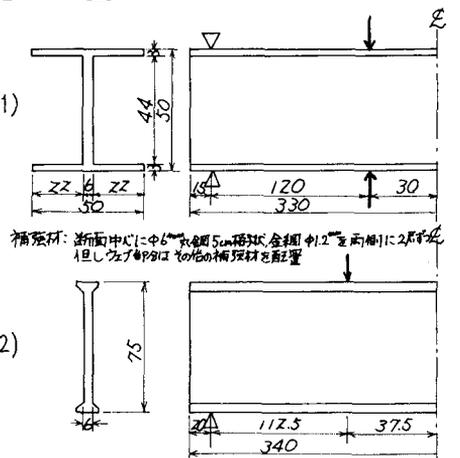


図-3 繰返し曲げ(1), せん断(2)試験体図(単位 cm)

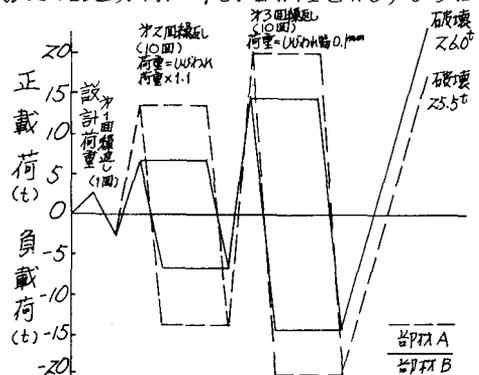


図-4 繰返し試験載荷方法